





## Device and method for creating one or more magnetic field gradients through a straight conductor

**Patent number:** DE19838536  
**Publication date:** 2000-03-02  
**Inventor:** KUNZE JUERGEN (DE); SCHEPP GUNTHER (DE);  
WEBER JAN THORSTEN (DE)  
**Applicant:** LUST ANTRIEBSTECHNIK GMBH (DE)  
**Classification:**  
- international: G01R15/20; G01R33/09; G01R33/022  
- european: G01R15/20D; G01R33/022  
**Application number:** DE19981038536 19980825  
**Priority number(s):** DE19981038536 19980825

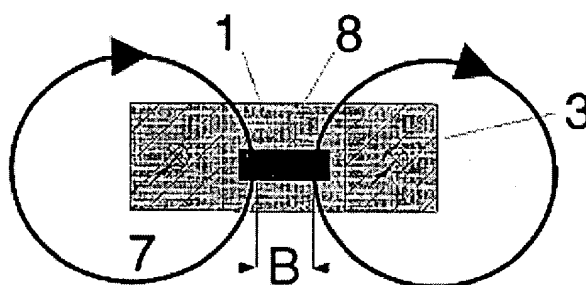
**Also published as:**

 WO0011482 (A1)  
 EP1110094 (A1)  
 US6636029 (B1)  
 EP1110094 (B1)

[Report a data error here](#)

**Abstract of DE19838536**

Magnetic field gradients are used e.g., for potential-free current measurement without voluminous ferrite cores in order to minimise the influence of homogenous external interference fields on the measurement. So far, they have been provided mainly through U-shaped primary current conductors. The aim of the invention is to make it unnecessary to guide high currents through U-shaped current conductors, this being costly, and to provide a device and a method for creating one or more magnetic field gradients through a straight conductor. To this end, a primary current conductor (3) which is straight at the point where the magnetic field is measured has a recess or groove or slot (8) for creating a magnetic field gradient. Inside or in the area surrounding said recess, the field lines (7) take a course that enables one or more gradiometers or an arrangement of absolute field measurement devices (1) to be positioned in such a way that the influences of especially homogenous interference fields on the measurements are successfully minimised using simple mathematical methods such as subtraction.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 198 38 536 A 1**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 R 15/20**  
G 01 R 33/09  
G 01 R 33/022

21 Aktenzeichen: 198 38 536.6  
22 Anmeldetag: 25. 8. 1998  
43 Offenlegungstag: 2. 3. 2000

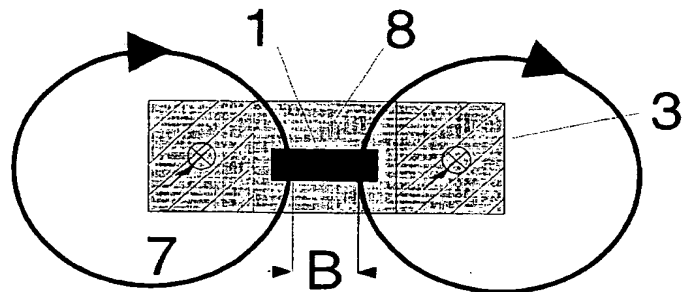
DE 198 38 536 A 1

71 Anmelder:  
Lust Antriebstechnik GmbH, 35633 Lahnau, DE  
74 Vertreter:  
S. Knefel und Kollegen, 35578 Wetzlar

72 Erfinder:  
Kunze, Jürgen, Dipl.-Ing., 35585 Wetzlar, DE;  
Schepp, Gunther, Dipl.-Ing., 35428 Langgöns, DE;  
Weber, Jan Thorsten, Dipl.-Phys., 35452  
Heuchelheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Vorrichtung und Verfahren zur Bildung eines oder mehrerer Magnetfeldgradienten durch einen geraden Leiter
- 57 Magnetfeldgradienten werden beispielsweise bei der potentialfreien Strommessung ohne voluminöse Ferritkerne gebraucht, um den Einfluß homogener äußerer Störfelder auf die Messung zu minimieren. Sie werden bisher in erster Linie durch u-förmige Primärstromleiter bereitgestellt. Aufgabe der Erfindung ist es, die aufwendige Führung hoher Ströme durch u-förmige Stromleiter überflüssig zu machen und eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bildung eines oder mehrerer Magnetfeldgradienten durch einen geraden Leiter anzugeben. Zu diesem Zweck besitzt ein am Orte der Magnetfeldmessung gerader Primärstromleiter (3) jeweils eine Aussparung beziehungsweise eine Nut oder einen Schlitz (8) zur Bildung eines Magnetfeldgradienten. Innerhalb oder in der Umgebung dieser Aussparung nehmen die Feldlinien (7) einen Verlauf, der es gestattet, ein oder mehrere Gradientenmeter oder eine Anordnung von Absolutfeldmeßgeräten (1) so zu positionieren, daß die Minimierung der Einflüsse insbesondere homogener Störfelder auf die Messung mit einfachen mathematischen Methoden wie zum Beispiel der Subtraktion gelingt (Figur 7).



DE 198 38 536 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bildung eines oder mehrerer Magnetfeldgradienten durch einen am Orte der Magnetfeldmessung geraden Stromleiter.

Der oder die entstandenen Magnetfeldgradienten sollen vorzugsweise zur potentialfreien Messung des Stromes in dem angesprochenen, am Orte der Magnetfeldmessung vorzugsweise gerade ausgeführten Leiters herangezogen werden.

Es ist bekannt, Ströme potentialfrei durch die Aufzeichnung ihres Magnetfeldes mit Hilfe des Halleffektes zu messen (Proceedings PCIM Hongkong, Oktober 1997, S. 129 ff.) Die derzeit handelsüblichen Hallwandler benötigen allerdings relativ teure und insbesondere bei der Messung höherer Ströme auch voluminöse Eisen- oder Ferritkerne zur Konzentration des magnetischen Flusses auf die magnetfeldempfindlichen Bereiche des jeweiligen Wandlers (Fig. 1).

Dieser Umstand, der auf die geringe Magnetfeldempfindlichkeit der erwähnten handelsüblichen Hallwandler zurückzuführen ist, hat zur Entwicklung empfindlicherer Hallwandler und anderer Magnetfeldmeßgeräte geführt.

So sind im Bereich der Hallwandler oder -sensoren Vorrichtungen bekannt, die auf einem wenigen Quadratmillimeter großen Siliziumsubstrat sowohl eine magnetfeldempfindliche Schicht als auch Flußkonzentratoren enthalten (EPFL/Sentron, Higly Sensitive Hall Sensor, Auslage Hannover Messe Industrie, 1998). Eine weitere Besonderheit dieser Vorrichtung liegt in der in vertikaler Richtung ellipsenförmigen Ausführung der magnetfeldempfindlichen Schicht, die eine weitere Steigerung der Magnetfeldempfindlichkeit zum Ziel hat.

Darüber hinaus gibt es eine ganze Reihe weiterer Verfahren zur Magnetfeldmessung, die aufgrund ihrer Empfindlichkeit auch ohne Eisen oder Ferritkerne für die potentialfreie Strommessung geeignet sind.

So sind seit längerer Zeit Magnetfeldmeßgeräte bekannt, die auf der Basis magneto-resistiver Effekte wie des anisotropen magneto-resistiven Effektes (AMR) (Magneto-resistive Sensoren III, Abschlußbereich des Verbundprojektes IMOMAG, BMFT-Förderkennzeichen 13 MV 0109-0120, Kapitel 6.1, Magnetfeldsensor mit integrierter Kompensationsleitung MSK 6) oder des gigantischen magneto-resistiven Effektes (GMR) (Magneto-resistive Sensoren IV, Symposium und Statusseminar am 11. Und 12 März 1997 in Wetzlar, Kapitel "MR-Sensoren mit Giantwiderstandsmaterialien: Potenzen und Probleme") arbeiten bekannt.

Darüber hinaus erscheint es in Zukunft auch denkbar, derartige Sensorsysteme auf der Basis des kolossalen magneto-resistiven Effektes (CMR) herzustellen (Ebenda S. 7 f.).

Allen Sensorsystemen, die über eine magnetische Empfindlichkeit verfügen, die es ihnen gestattet, ohne Verwendung von voluminösen Eisenkernen Ströme potentialfrei zu messen, ist jedoch eine große Empfindlichkeit gegenüber Störfeldern eigen. Diesem Umstand wird gegenwärtig beispielsweise dadurch begegnet, daß durch eine spezielle Anordnung der magneto-resistiven Materialien, die in dem jeweiligen Meßgerät zum Einsatz kommen, Magnetfeldgradiometer hergestellt werden, die eine geringere Empfindlichkeit gegenüber homogenen Störfeldern aufweisen.

So beschreibt beispielsweise die DE 43 00 605 C2 einen Sensorchip, der insbesondere auf der Basis des AMR funktioniert und in der Lage ist, Strom durch die Aufzeichnung des Magnetfeldgradienten potentialfrei zu messen. Natürlich sind auch Vorrichtungen bekannt, die auf der Basis des GMR (Magneto-resistive Sensoren IV, Symposium und Sta-

tusseminar am 11. Und 12 März 1997 in Wetzlar, Kapitel "MR-Sensoren mit Giantwiderstandsmaterialien: Potenzen und Probleme" S. 4 ff.) oder anderer magnetfeldempfindlicher Effekte arbeiten und als Gradiometer ausgelegt sind.

Auch die oben bereits vorgestellten, besonders empfindlichen Hallsensoren mit weich magnetischen Flußkonzentratoren (EPFL/Sentron, Higly Sensitive Hall Sensor, Auslage Hannover Messe Industrie, 1998) sind prinzipiell auch als Gradiometer auslegbar. Zu diesem Zweck bedarf es lediglich der Aufbringung beispielsweise zweier magnetfeldempfindlicher Bereiche auf einem Siliziumsubstrat und der geeigneten Auswertung der beiden entstehenden Hallspannungen.

Ein Nachteil des beschriebenen Prinzips liegt in dem Umstand, einen Magnetfeldgradienten bereitstellen zu müssen, begründet.

Die DE 43 00 605 C2 und die US 5 548 208 schlagen zu diesem Zweck beispielsweise die u-förmige Ausführung des Stromleiters, durch den der zu messende Primärstrom geführt wird, vor (Fig. 2). Das eigentliche Magnetfeldgradiometer wird bei diesen beiden Veröffentlichungen vorzugsweise auf einem potentialtrennenden Trägermaterial aufgebracht, das seinerseits auf dem u-förmigen Primärleiter befestigt wird.

Die Nachteile dieses Prinzips liegen jedoch auf der Hand: Es ist notwendig den normalerweise in geraden Stromleitern fließenden Strom durch einen u-förmigen Primärleiter zu führen. Zu diesem Zweck werden insbesondere im Hochstrombereich massive Stromleiter oder Breitbandkabel unterbrochen und die Leiterenden in geeigneter Form mit den Anschlüssen des u-förmigen Primärleiters verbunden. Dieses Verfahren ist relativ aufwendig und vor allem mit den üblicherweise im Maschinen- und Fahrzeugbau verwendeten Fertigungsprozessen schwer vereinbar.

Daher ist auch eine Anordnung bekannt, die unter Verwendung mindestens zweier Magnetfeldmeßgeräte eine gegen homogene Störfelder relativ unempfindliche Strommessung ohne voluminöse Eisen- oder Ferritkerne erlaubt: Bei der DE 44 34 417 A1 werden insbesondere zwei Absolutfeldmeßgeräte auf vorzugsweise gegenüberliegenden Seiten eines geraden Leiters (parallel zur Stromflußrichtung) angeordnet (Fig. 3). Auf diese Weise wird sichergestellt, daß das kreisförmige Magnetfeld des geraden Leiters die beiden Meßgeräte in umgekehrter Richtung durchsetzt. Die Ausgangssignale beider Meßgeräte werden voneinander subtrahiert, so daß die Störanteile homogener Störfelder weitgehend wegfallen.

Doch auch diese Erfindung weist immanente Nachteile auf. Zunächst sind gegenüber dem dargestellten gradiometrischen Prinzip zwei Magnetfeldmeßgeräte und zwei potentialtrennende Trägersubstrate zu verwenden. Darüber hinaus ist der Abstand zwischen den beiden Magnetfeldmeßgeräten nicht frei wählbar, da er insbesondere vom Durchmesser der Primärleiters abhängt.

Dieser Abstand ist jedoch für die Empfindlichkeit der Anordnung gegenüber Störfeldern entscheidend, da sich Störfelder natürlich mit dem Abstand verändern. Mit einfachen mathematischen Mitteln wie der Subtraktion sind die Einflüsse dieser Störfelder bei der Auswertung der Ausgangssignale der Absolutfeldmeßgeräte nur hinreichend zu minimieren, wenn diese von annähernd gleichen Störfeldern durchsetzt werden. Bei der Verwendung von Gradiometern entspricht der Begriff "Basisbreite des Gradiometers" in seiner Bedeutung für die Empfindlichkeit dieser Geräte gegenüber Störfeldern dem oben erklärten Abstand der Absolutfeldmeßgeräte.

Die Tatsache, daß der Abstand zwischen den Absolutfeldmeßgeräten bei der 44 34 417 A1 vom Primärleiterquer-

schnitt abhängt, ist insbesondere im Hochstrombereich, der sowohl durch große Primärleiterquerschnitte, als auch durch hohe Störfelder gekennzeichnet ist, von Nachteil.

Der im Patentanspruch 1 angegebenen Erfindung liegt das Problem zugrunde, die Nachteile der beiden beschriebenen Meßverfahren, das heißt die Verwendung eines u-förmigen Primärleiters bei dem gradiometrischen Meßverfahren und der vorgegebenen Basisbreite bei dem Meßverfahren mit mindestens zwei Absolutfeldmeßgeräten, zu beseitigen. Zu diesem Zweck wird eine Vorrichtung und ein Verfahren angegeben, das es erlaubt, an einem geraden Primärstromleiter entweder mit Hilfe eines Gradiometers oder mindestens zweier Absolutfeldmeßgeräte potentialfrei und unter weitgehender Ausschaltung externer Störfelder Strom zu messen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst,

- a) daß die Bildung des oder der Magnetfeldgradienten jeweils durch einen Leiter erfolgt, der mit einer oder mehreren geeigneten Aussparungen, beispielsweise Nuten oder Schlitzten, versehen und am Orte der Messung vorzugsweise gerade ausgeprägt ist, oder
- b) durch die entsprechende geeignete Anordnung der leitfähigen Bauteile, die einen am Orte der Messung vorzugsweise geraden Stromleiter mit einer oder mehreren entsprechenden Aussparungen bilden, erfolgt und daß die Messung des Magnetfeldes oder des Magnetfeldgradienten jeweils durch geeignete Vorrichtungen in der Umgebung einzelner Aussparungen vorgenommen wird.

Die Erfindung ermöglicht die Messung des Magnetfeldgradienten beispielsweise in einer Nut in einem massiven Stromleiter. Diese Maßnahme führt zu einem kompakteren Aufbau und geringeren Herstellkosten, da gegenüber sonstigen Gradiometeranordnungen die Notwendigkeit der u-förmigen Ausführung des Primärleiters entfällt. Gegenüber den oben beschriebenen Anordnungen mit mindestens zwei Absolutfeldmeßgeräten, die außerhalb eines geraden Leiters angeordnet sind, ist die Möglichkeit der Realisierung variabel insbesondere vom Primärleiterquerschnitt unabhängiger Basisbreiten hervorzuheben. Hierbei ist es möglich, die gewünschte Basisbreite durch die Bauart des verwendeten Gradiometers vorzugeben oder zwei oder mehrere Absolutfeldmeßgeräte in dem gewünschten Abstand voneinander anzubringen und mit ihrer Hilfe den Magnetfeldgradienten zu messen.

Desweiteren kann davon ausgegangen werden, daß die Messung eines innerhalb oder in unmittelbarer Nähe der Aussparung befindlichen Magnetfeldgradienten ohnehin mit geringeren Störfeldern behaftet ist als die Messung von Gradienten oder Absolutfeldern weit außerhalb desselben. Dieser Effekt scheint zunächst mit der klassischen Elektrodynamik schwer zu erklären, da die leitfähigen Materialien, die den erfindungsgemäßen Stromleiter bilden, zunächst nur Abschirmung gegen elektrische Felder gewährleisten dürfen.

Das angesprochene Phänomen ist allerdings reproduzierbar meßbar und höchstwahrscheinlich auf Wirbelströme im Primärleiter zurückzuführen, die insbesondere auf die verursachenden wechselnden äußeren Felder dämpfend wirken.

Zu den angesprochenen Vorteilen, die vorwiegend physikalischer Art sind, kommt ein weiterer fertigungstechnischer Aspekt hinzu:

Bei einer Vorrichtung gemäß der DE 43 00 605 C2 ist die Genauigkeit mit der der u-förmige Primärleiter zum eigentlichen magnetoresistiven Sensorelement positioniert wird

von großer Bedeutung für die Meßgenauigkeit und den Meßbereich des Gradiometers. In Analogie zu dieser Problemstellung ist der Abstand und die Symmetrie der Absolutfeldmeßgeräte bei einer Vorrichtung gemäß der DE 44 34 417 A1 eine kritische Größe, deren Einhaltung oft zusätzlichen Aufwand erfordert.

Ein Gradiometer oder eine Anordnung von Absolutfeldmeßgeräten, die Magnetfeldgradienten messen kann, wird vorzugsweise mit mikrosystemtechnischen Fertigungsmethoden hergestellt und oft mit der nötigen Auswerteelektronik integriert werden. Daher werden sich die mechanischen Fertigungstoleranzen in engen Grenzen halten.

Die Bereitstellung einer erfindungsgemäßen Aussparung in dem Primärleiter, die beispielsweise durch das Fräsen einer Nut vorgenommen werden kann, ist ebenfalls schon mit den Mitteln des klassischen Maschinenbaus mit einer Genauigkeit von einigen Hundertstel Millimetern möglich. Zur Verbindung beider Bauteile sind dann nur noch kostengünstige und im Maschinen- und Fahrzeugbau übliche Steckverfahren oder ähnlich kostengünstige Fertigungsverfahren vonnöten, so daß zur Gewährleistung der erforderlichen Positionierungsgenauigkeit keine zusätzlichen Maßnahmen mehr erforderlich sind.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt in der Möglichkeit, beispielsweise hohe Ströme durch mehrfach geschlitzte Leiter so zu unterteilen, daß die Gradienten zwischen den einzelnen Leiterströmen nicht zu groß für Meßgeräte werden, die für die Messung kleinerer Ströme optimiert sind. Dieser Vorteil wiegt umso schwerer, da die großen Stückzahlen und damit relativ geringen Herstellkosten in Strombereichen realisiert werden dürfen, in denen eine Mehrfachunterteilung des Leiters nicht zwingend vonnöten ist. Trotz dieser Tatsache kann ein erfindungsgemäßer Stromleiter mit mehreren Aussparungen auch dann nützlich sein, wenn die Meßsignale, die in der Umgebung verschiedener erfindungsgemäßer Aussparungen aufgenommen werden, mathematisch geschickt miteinander verknüpft werden. Auf diese Weise können Störfelder noch wirkungsvoller unterdrückt werden als durch die Aufzeichnung eines Gradienten.

Wie schon mehrfach erwähnt, sind vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sowohl mit monolithisch oder auf andere Art integrierten Gradiometern als auch mit geeigneten Anordnungen von Absolutfeldmeßgeräten möglich.

Bei dem Einsatz von Gradiometern ist die Empfindlichkeitsrichtung der magnetfeldempfindlichen Bereiche derselben zu beachten. Insbesondere bei einer Vorrichtung gemäß der DE 43 00 605 C2 ist es vorteilhaft, den in der zitierten Veröffentlichung beschriebenen Sensorchip so auszurichten, daß das Basissubstrat desselben gegenüber der Fläche, die von der Stromflußrichtung und den Mittelpunkten der Querschnittsflächen der beiden Leiterrteile, die eine erfindungsgemäße Aussparung umgeben, aufgespannt wird, um etwa 45° geneigt ist. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß die Feldlinien die magnetoresistiven Bereiche in besonders vorteilhafter Form durchdringen.

Bei anderen Magnetfeldgradiometern, die auf der Basis des GMR, des CMR, des Halleffektes oder anderer magnetfeldempfindlicher Effekte funktionieren können, erscheint allein schon aus fertigungstechnischen Gründen die zu dieser Fläche annähernd orthogonale Ausrichtung des Gradiometers als vorteilhaft. Natürlich erscheint es auch möglich, auf der Basis des AMR einen Sensor zu bauen, dessen magnetoresistive Bereiche so ausgeformt sind, daß eine gerade Ausrichtung des Sensors auch physikalisch vorteilhaft wird. Insbesondere bei auf der Basis des Halleffektes arbeitenden Gradiometern, deren magnetfeldempfindliche Bereiche planar auf einem Basissubstrat aufgebracht sind, erscheint eine Ausrichtung des Basissubstrats parallel zu der vorgenannten

Fläche als vorteilhaft. Unabhängig von diesen Überlegungen erscheint es möglich, mit einem Großteil der vorgenannten Effekte Gradiometer zu bauen, die sich in der einen oder anderen Weise physikalisch vorteilhaft und fertigungstechnisch günstig in der erfindungsgemäßen Aussparung oder in ihrer Umgebung anordnen lassen.

Bei der Verwendung von Anordnungen von Absolutfeldmeßgeräten und/oder Gradiometern sind verschiedene Anordnungen denkbar.

Vorteilhafte Anordnungen dieser Meßgeräte sollen zunächst lediglich am Beispiel eines Leiters mit einer erfindungsgemäßen Aussparung näher erläutert werden, um den Umfang des folgenden Textes in Grenzen zu halten:

Um die Vorteile dieser Anordnungen auszunutzen, erscheint es zunächst vorteilhaft, eine gerade Anzahl von Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßgeräten gleicher Bauart symmetrisch in einer erfindungsgemäßen Nut oder deren Umgebung anzuordnen, wobei die Ausgangssignale der jeweiligen Meßgeräte in der Umgebung einer Aussparung durch geeignete mathematische Operationen wie beispielsweise die Subtraktion insbesondere so miteinander verknüpft werden, daß die Störanteile minimiert werden.

Desweiteren kann es auch vorteilhaft sein, eine solche Meßanordnung durch geeignete Maßnahmen wie die bewußte asymmetrische Anbringung derselben zu dejustieren um den Meßbereich der Anordnung zu verschieben oder auszuweiten. Maßnahmen dieser Art erscheinen besonders sinnvoll, da der Magnetfeldgradient, der in der erfindungsgemäßen Aussparung erzeugt wird, in der Regel von relativ geringem Betrag ist:

Ein u-förmiger Stromleiter dreht bekanntlich die Stromflußrichtung um 180°. So ist der Magnetfeldgradient in einer Ebene oberhalb des Stromleiters parallel zur Basisbreite des Sensors (vergleiche DE 43 00 605 C2 oder Fig. 3) oft größer als der Magnetfeldgradient einer erfindungsgemäßen Anordnung bei gleichem Primärstrom.

Maßnahmen wie die bewußte Dejustage der Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßgeräte gegenüber dem Nulldurchgang des magnetischen Feldes können durch elektronische Maßnahmen oder Kalibrierung in geeigneter Weise flankiert oder ausgeglichen werden.

Zu den Maßnahmen, die ebenfalls zur Optimierung des magnetischen Flusses in der Umgebung einer erfindungsgemäßen Aussparung beitragen können, gehört die Anordnung von Bauteilen aus Materialien, die den magnetischen Fluß in geeigneter Form führen können. So kommt es zu einer erheblichen Steigerung des magnetischen Flusses in der erfindungsgemäßen Aussparung, wenn der Leiter teilweise mit Ferritmaterial umhüllt wird. Auch diese Maßnahme kann sowohl mit dem Ziel durchgeführt werden, den Magnetfeldgradienten symmetrisch zum Nulldurchgang des magnetischen Feldes auf die Bedürfnisse der Anwendung und der Meßvorrichtung zu optimieren, als auch mit der Absicht, ein zum Nulldurchgang asymmetrisches Feld zu erzeugen.

Zur Realisierung der letztgenannten Absicht ist es ebenfalls möglich, den gesamten erfindungsgemäßen Stromleiter in Stromflußrichtung asymmetrisch zu der Aussparung auszuliegen. Auf diese Weise werden auf beiden Seiten der Aussparung unterschiedliche Ströme oder Stromflußdichten zustande kommen, was den gewünschten obengenannten Effekt zur Folge hat.

Es ist vor dem Hintergrund des Standes der Mikrosystemtechnik – wie beispielsweise der Flipchiptechnologie – unter anderem vorteilhaft, die Gradiometer oder Magnetfeldmeßgeräte zunächst auf einem oder mehreren Trägern wie zum Beispiel Folien zu befestigen und das entstandene Mikrosystem in oder in der Nähe der Aussparung zu positionieren. Auf diese Weise wird ein besonders kostengünstiger und

einfacher Aufbau realisiert.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung liegt in der Möglichkeit begründet, ein oder mehrere Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßsysteme so zu fertigen, daß es oder sie in der erfindungsgemäßen Aussparung relativ genau positioniert oder befestigt werden können. Auf diese Weise entfällt die relativ aufwendige Positionierung des Meßsystems zum Leiter, die normalerweise notwendig ist, um eine genaue Messung mit hinreichendem Meßbereich zu gewährleisten.

Erfindungsgemäße Vorrichtungen stellen die insbesondere für die potentialfreie Strommessung nützlichen Magnetfeldgradienten zur Verfügung, so daß es in verschiedenen Strom- oder Temperaturbereichen oder unter dem Einfluß sonstiger unterschiedlicher Umweltbedingungen vorteilhaft erscheint, mit unterschiedlichen Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßgeräten, die auf der Basis einer Vielzahl verschiedener Prinzipien oder Effekte arbeiten, gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zu messen.

Die gewonnenen Meßwerte werden natürlich oft auch zur Ableitung oder Ermittlung verwandter Größen wie Spannung oder Leistung dienen.

Insbesondere im Hochstrombereich kann aufgrund des Vorkommens großer Störfelder eine magnetische Abschirmung der gesamten Vorrichtung oder eines Teils derselben notwendig werden. Aufgrund der außerordentlichen Kompaktheit derselben ist auch eine solche Abschirmvorrichtung mit geringem Aufwand zu realisieren.

Bei Kurz- oder Erdschlüssen fließen schon bei Geräten mit niedrigen Nennströmen zeitweise sehr hohe Ströme, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren leicht detektiert werden können. Die Ausgangssignale der Meßgeräte können dann beispielsweise zur Überwachung verwendet werden.

Aufgrund der Kompaktheit der Vorrichtung und der damit verbundenen Möglichkeit der einfachen magnetischen Abschirmung eignet sich das Verfahren natürlich besonders gut dazu, auf relativ engem Raum mehrere Ströme mit Hilfe mehrerer erfindungsgemäßer Stromleiter zu detektieren.

Eine weitere kostengünstige Möglichkeit der Strommessung ergibt sich ebenfalls aus der Abschirmung oder Abschirmbarkeit der Erfindung: Sind bei einer Anwendung nur minimale Störfelder am Orte der Magnetfeld- beziehungsweise Magnetfeldgradientenmessung zu erwarten, so genügt es, nur auf einer Seite des Nulldurchgangs des magnetischen Feldes zu messen. Eine solche Messung kann schon mit einem Absolutfeldmeßgerät durchgeführt werden.

Die vorzugsweise industrielle Vorfertigung der gesamten Einheit als Vorrichtung zur potentialfreien Strommessung verspricht eine erhebliche Senkung der Stückkosten. Einheiten dieser Art können insbesondere an ihren Leiterenden in geeigneter Weise mit den Stromleitern, die den zu messenden Strom führen, verbunden werden. Besonders günstig sind in diesem Zusammenhang Steckverbindungen, mit denen beispielsweise Breitbandkabel an die Einheiten angeschlossen werden können.

Eine andere vorteilhafte Art, erfindungsgemäße Vorrichtungen zu fertigen, dürfte beispielsweise im Automobilbau von Interesse sein:

Hier könnte der erfindungsgemäße, gradientenbildende Leiter bereits als Teil eines Zielgerätes gefertigt werden. Ein solches Zielgerät kann zum Beispiel ein leistungsstarker Generator, eine herkömmliche Lichtmaschine, eine Brennstoffzelle oder ein Sicherungskasten sein. Bauteile dieser Art werden in außerordentlich hohen Stückzahlen und damit zu relativ niedrigen Kosten gefertigt. Auch die Realisierung von erfindungsgemäßen Aussparungen in den Stromleitern dieser Zielgeräte dürfte daher auf kostengünstige Weise möglich sein. Die zur Messung der gebildeten Magnetfeld-

gradienten geeigneten Vorrichtungen könnten dann als vorgefertigtes und auf die Anwendung abgestimmtes Mikrosystem angeliefert und in der Umgebung der erfindungsgemäßen Aussparungen positioniert werden.

Fertigungstechnische Maßnahmen der vorgenannten Art sind natürlich in verschiedenen Ausprägungen vorteilhaft und dürfen in unterschiedlichen Branchen Verwendung finden.

Wie oben bereits erwähnt, bringt die Verwendung eines erfindungsgemäßen Leiters mit mehreren Aussparungen verschiedene Vorteile mit sich. Zunächst ist es möglich, den Primärstrom durch die mehrfache Schlitzung des Leiters so zu führen, daß die verwendeten Meßgeräte in ihrem Nennstrombereich arbeiten.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit der Auswertung der verschiedenen Gradienten:

Die in der Umgebung verschiedener Aussparungen gewonnenen Meßwerte können in einer Weise mathematisch miteinander verknüpft werden, die zu einer weiteren Minimierung oder Eliminierung der Störanteile geeignet ist.

Zum Zwecke einer möglichst effektiven Auswertung dieser Signale kann es auch vorteilhaft sein, die Messung der verschiedenen Magnetfeldgradienten mit unterschiedlichen Verfahren durchzuführen.

Im folgenden wird die der Erfindung zugrundeliegende Problemstellung, die Erfindung und einige bevorzugte Ausführungsformen derselben anhand von Zeichnungen erläutert:

Es zeigen:

**Fig. 1** Das Aufbauprinzip eines herkömmlichen Hallwandlers mit Flußkonzentration.

**Fig. 2** Die Gradientenbildung wie sie in der DE 43 00 605 C2 gezeigt wird anhand einer Skizze.

**Fig. 3** Die potentialfreie Strommessung mit zwei Absolutfeldmeßgeräten wie sie von der DE 44 34 417 A1 vorgeschlagen wird.

**Fig. 4** Eine Skizze eines Beispiels eines geschlitzten, erfindungsgemäßen Stromleiters und des Feldlinienverlaufs in seiner Umgebung.

**Fig. 5** Ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Stromleiters, der aus zwei leitfähigen Teilen zusammengesetzt ist.

**Fig. 6** Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Leiter mit einer Nut.

**Fig. 7** Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen geschlitzten Leiter mit einem Gradiometer.

**Fig. 8** Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen geschlitzten Leiter mit einem geeigneten Gradiometer.

**Fig. 9** Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen geschlitzten Leiter mit einer Anordnung von zwei Absolutfeldmeßgeräten.

**Fig. 10** Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen geschlitzten Leiter mit einem Schlitz, der zur Führung des magnetischen Flusses in beispielhafter Form geführt ist und in dessen Schlitz ein Mikrosystem eingepaßt ist.

**Fig. 11** Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen geschlitzten Leiter, an dem zusätzliche Bauteile zur magnetischen Flußführung abgebracht sind.

**Fig. 12** Einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Leiter mit zwei Schlitzten, die eine unterschiedliche Breite aufweisen, wobei am Primärleiter ein zusätzlicher Bauteil zur magnetischen Flußführung abgebracht ist.

**Fig. 1** zeigt das Aufbauprinzip eines handelsüblichen Hallwandlers, bei dem ein Ferrit- oder Eisenkern (5) den magnetischen Fluß eines Stromleiters (3) führt (18), was zu konzentriertem magnetischen Fluß (6) in der Umgebung des Hallwandlers führt. Bei diesem Aufbauprinzip werden insbesondere bei hohen Strömen voluminöse Eisen- oder Ferritkerne verwendet.

**Fig. 2** zeigt eine Magnetfeldgradientenbildung wie sie in der DE 43 00 605 C2 und der US 5 548 208 vorgeschlagen wird, die bei Verwendung eines empfindlichen Meßsystems (1) ohne eine aufwendige magnetische Flußführung auskommt. Der in diesem Fall u-förmig ausgeprägte Primärstromleiter (3) erzeugt einen Magnetfeldgradienten, der das Gradiometer durchsetzt. Auf diese Weise ist es möglich, bei der Auswertung die Anteile der Störfelder zu minimieren.

**Fig. 3** zeigt eine Vorrichtung, die unter anderem von der DE 44 34 417 A1 vorgeschlagen wird. Ein gerader Stromleiter (3) besitzt ein Magnetfeld mit annähernd kreisförmigen Feldlinien (7), dessen Verformungen durch den Querschnitt des Leiters zustande kommen können. Dieses Magnetfeld durchsetzt zwei Absolutfeldmeßgeräte (1), die von dem Magnetfeld in entgegengesetzter Richtung durchdrungen werden. Die Auswertung der Ausgangssignale der beiden Meßgeräte erfolgt beispielsweise mit Hilfe eines Subtrahierers. Auf diese Weise fallen die Störanteile homogener externer Störfelder weitgehend weg. Die Höhe der verbleibenden Störanteile hängt jedoch von dem Abstand der Meßgeräte zueinander ab, der wiederum mit dem Durchmesser des Leiters zusammenhängt.

**Fig. 4** zeigt einen erfindungsgemäßen geschlitzten Primärleiter (3) und den von dem Primärstrom hervorgerufenen Feldlinienverlauf (7) in der Umgebung des erfindungsgemäßen Schlitzes (8).

**Fig. 5** zeigt dieselbe Skizze, wobei der Primärleiter (3) sich aus den leitfähigen Bauteilen 12 und 13 zusammensetzt, die an der Stoßlinie 14 miteinander insbesondere leitfähig verbunden sind. Diese Skizze illustriert lediglich, daß der erfindungsgemäße Primärleiter aus einer Mehrzahl geeigneter Bauelemente zusammengesetzt sein kann.

**Fig. 6** zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Primärleiter (3), der statt einem durchgehenden Schlitz eine Nut (9) als erfindungsgemäße Aussparung aufweist. Der Verlauf der Feldlinien ist in dieser Figur lediglich skizziert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit beschränken sich die folgenden Figuren auf die Darstellung von Ausführungsbeispielen, die mit einem durchgängigen erfindungsgemäßen Schlitz versehen sind.

**Fig. 7** zeigt einen Querschnitt durch einen solchen erfindungsgemäßen Stromleiter (3). In der erfindungsgemäßen Aussparung befindet sich ein Magnetfeldmeßgerät (1), das in diesem Ausführungsbeispiel als Magnetfeldgradientenmeßgerät ausgelegt ist. Die Anordnung dieses Gradiometers ist symmetrisch zum Nulldurchgang des magnetischen Feldes. Das Basissubstrat des Gradiometers ist etwa parallel zu der Fläche, die von der Stromflußrichtung und den Mittelpunkt der beiden Leiterteile aufgespannt wird. Das Maß (B) bezeichnet die Basisbreite des Gradiometers, die insbesondere durch den Abstand verschiedener magnetfeldempfindlicher Schichten, die den Magnetfeldgradienten hier zu beiden Seiten des Nulldurchganges messen, gegeben ist.

**Fig. 8** zeigt eine im wesentlichen identische Querschnittszeichnung, bei der das Gradiometer (1) um etwa 45° gegenüber dieser Fläche geneigt ist.

Bei **Fig. 9** sind zwei Absolutfeldmeßgeräte (1) in der erfindungsgemäßen Aussparung angebracht. Sie sind an einem geeigneten Träger (10) befestigt. Der Abstand der beiden Meßgeräte (1) beziehungsweise ihrer magnetfeldempfindlichen Schichten ist hier ebenfalls mit (B) bezeichnet. Er entspricht in physikalischem Sinn der Basisbreite des Gradiometers in **Fig. 7**.

**Fig. 10** zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Stromleiter (3), der eine Aussparung (8) aufweist, deren Ausrichtung weniger von fertigungstechnischen als von physikalischen Überlegungen geprägt wurde. Dieser speziellen Ausrichtung kommt jedoch auch nur beispiel-

hafte Bedeutung zu. Darüber hinaus zeigt Fig. 10 ein Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßgerät (1), das in einen Teil eines Mikrosystems (11) eingefügt ist, das in die Aussparung (8) paßt und dort mit hinreichender Genauigkeit und geringem Aufwand zu positionieren ist.

Fig. 11 zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Stromleiter (3), der von Bauteilen (16, 17) aus einem Material umgeben ist, das geeignet ist, den magnetischen Fluß zu führen. Ein solches Material ist beispielsweise Ferrit. Durch diese Maßnahme wird der Fluß innerhalb des Materials in weniger konzentrierter Form (18) geführt und eine Konzentration oder Hinführung des magnetischen Flusses beispielsweise am Orte der Messung desselben erreicht. Wird eines der beiden Bauteile (16, 17) weggelassen oder werden die beiden Bauteile mit unterschiedlicher Größe oder unterschiedlichem Material ausgefertigt, so entsteht ein zu der erfindungsgemäßen Aussparung asymmetrisches Gradientenfeld.

Fig. 12 zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Leiter (3), der mit zwei Aussparungen versehen ist und zwei Gradienten bildet. Dieser Leiter bildet jedoch ein asymmetrisches Gradientenfeld, da der linke Schlitz (8) breiter ist als der rechte und das linke Leiterteil über ein Bauteil zur magnetischen Flußführung verfügt (16). Durch diese Maßnahme wird der magnetische Fluß konzentriert (6), so daß das linke Magnetfeldgradientenmeßgerät (1), das anders beschaffen ist als das rechte Meßgerät, einem asymmetrischen Magnetfeld ausgesetzt ist. Diese letzte Figur dient vor allem der beispielhaften Veranschaulichung der Vielfalt der Ausführungsformen der Erfindung.

Weitere Vorrichtungen mit mehreren erfindungsgemäßen Aussparungen sind an dieser Stelle nicht dargestellt, um die Zahl der Figuren nicht noch weiter zu erhöhen.

Auch andere Maßnahmen zur Herstellung eines asymmetrischen Gradientenfeldes oder zur asymmetrischen Positionierung des Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßsystems sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht anhand von Zeichnungen dargestellt. Auch auf die Darstellung runder, ellipsoider, dreieckiger, vieleckiger oder in sonstiger Weise geformter Leiterquerschnitte wurde lediglich aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

#### Bezugszeichenliste

- |    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßgerät, beziehungsweise Absolutfeldmeßgerät oder Gradiometer | 45 |
| 2  | Hallwandler   |    |
| 3  | Primärleiter  |    |
| 4  | potentialtrennendes Substrat  |    |
| 5  | Ferrit oder Eisenkern   | 50 |
| 6  | konzentrierter magnetischer Fluß  |    |
| 7  | Feldlinien des primären Magnetfeldes  |    |
| 8  | Schlitz oder Aussparung   |    |
| 9  | Nut oder Aussparung   |    |
| 10 | Trägermaterial, beispielsweise Folie  | 55 |
| 11 | Teil des Mikrosystems, beispielsweise aus geeigneter Vergußmasse bestehend                          |    |
| 12 | leitfähiges Bauteil   |    |
| 13 | leitfähiges Bauteil   |    |
| 14 | Stoßlinie zwischen den leitfähigen Bauteilen  | 60 |
| 15 | Anschlüsse der Absolutfeldmeßgeräte und Auswertelektronik, beispielsweise Subtrahierer              |    |
| 16 | Bauteil aus einem Material, das den magnetischen Fluß führt, beispielsweise Ferrit                  |    |
| 17 | Bauteil aus einem Material, das den magnetischen Fluß führt, beispielsweise Ferrit                  | 65 |
| 18 | "geführter" weniger konzentrierter magnetischer Fluß  |    |
| B  | Basisbreite eines Gradiometers, Abstand zwischen zwei   |    |

Absolutfeldmeßgeräten oder ähnliches

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung und Verfahren zur potentialfreien Strommessung durch die Aufzeichnung des von dem jeweiligen primären Strom verursachten Magnetfeldes beziehungsweise des oder der Magnetfeldgradienten, **dadurch gekennzeichnet**,

a) daß die Bildung des oder der Magnetfeldgradienten jeweils durch einen Leiter erfolgt, der mit einer oder mehreren geeigneten Aussparungen, beispielsweise Nuten oder Schlitzen, versehen und am Orte der Messung vorzugsweise gerade ausgeprägt ist, oder

b) durch die entsprechende geeignete Anordnung der leitfähigen Bauteile, die einen am Orte der Messung vorzugsweise geraden Stromleiter mit einer oder mehreren entsprechenden Aussparungen bilden, erfolgt und daß die Messung des Magnetfeldes oder des Magnetfeldgradienten jeweils durch geeignete Vorrichtungen in der Umgebung einzelner Aussparungen vorgenommen wird.

2. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung einzelner oder mehrerer erfindungsgemäß gebildeter Gradienten jeweils mit einem magnetischen Gradiometer oder einer Anordnung magnetischer Gradiometer vorgenommen wird.

3. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung einzelner oder mehrerer erfindungsgemäß gebildeter Gradienten jeweils mit einem oder einer geeigneten Anordnung von Absolutfeldmeßgeräten vorgenommen wird.

4. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß für die Messung einzelner oder mehrerer erfindungsgemäß gebildeter Gradienten jeweils ein Gradiometer verwendet wird, dessen Basissubstrat gegenüber der Fläche, die von der Stromflußrichtung und den Mittelpunkten der beiden Leiterteile, die die jeweilige Aussparung bilden, aufgespannt wird,

a) um etwa 45° geneigt

oder

b) etwa orthogonal

oder

c) etwa parallel

ausgerichtet ist, wobei die Aussparungen, Nuten oder Schlitze des geraden Leiters entsprechend geformt sind, um den magnetischen Fluß gegebenenfalls in einer für die jeweiligen Gradiometer geeigneten Weise zu führen und die jeweiligen Gradiometer selbst gegebenenfalls aufzunehmen.

5. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die Messung einzelner oder mehrerer Gradienten jeweils eine geeignete Anordnung von Absolutfeldmeßgeräten oder Gradiometern verwendet wird, die

a) aus einer geradzahligigen Anzahl gleichartiger oder ähnlicher Absolutfeldmeßgeräte besteht, die vorzugsweise symmetrisch zum Nulldurchgang des magnetischen Feldes in der jeweiligen Aussparung, beziehungsweise der Nut oder dem Schlitz in dem Primärleiter angebracht sind oder

b) aus einem oder mehreren Gradiometern be-



steht, dessen oder deren magnetfeldempfindliche Bereiche in der jeweiligen Aussparung, beziehungsweise der Nut oder dem Schlitz symmetrisch zum Nulldurchgang des magnetischen Feldes in der Aussparung in dem Primärleiter angeordnet sind. 5

6. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die Messung einzelner oder mehrerer erfindungsgemäßer Gradienten jeweils eine geeignete Anordnung von Absolutfeldmeßgeräten oder Gradiometern verwendet wird, die eine oder verschiedene Asymmetrien in der Anordnung oder Kalibrierung ihrer magnetfeldempfindlichen Bereiche zum Nulldurchgang des magnetischen Feldes aufweisen, die beispielsweise 10

a) in der Anordnung einer ungeradzahligem Anzahl gleichartiger oder ähnlicher Absolutfeldmeßgeräte oder Gradiometer im Bereich des Nulldurchgangs besteht, oder 15

b) in der Anordnung verschiedenartiger oder verschiedenartig kalibrierter Absolutfeldmeßgeräte oder Gradiometer besteht, oder 20

c) in der asymmetrischen Anordnung symmetrischer Gradiometer oder von Anordnungen von Absolutfeldmeßgeräten zum Nulldurchgang des magnetischen Feldes besteht, 25

wobei die Ausgangssignale der jeweiligen Magnetfeldmeßsysteme durch geeignete mathematische Operationen wie beispielsweise die Subtraktion insbesondere so miteinander verknüpft werden, daß die Störanteile minimiert werden. 30

7. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erfindungsgemäße Primärstromleiter ganz oder teilweise von einem zur Führung des magnetischen Flusses geeigneten Material umgeben ist, um den magnetischen Fluß so zu führen, daß er auf die Anforderungen der jeweiligen Anwendung und des oder der verwendeten Magnetfeldmeßgeräte abgestimmt ist, wobei die Anordnung dieses Materials symmetrisch oder asymmetrisch zu der oder den erfindungsgemäßen Aussparungen, den erfindungsgemäßen Nuten, beziehungsweise den erfindungsgemäßen Schlitzen ausgeprägt sein kann, um den Magnetfeldgradienten auf die Anforderungen der Anwendung und der oder des verwendeten Magnetfeldmeßgerätes zu optimieren. 35 40 45

8. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erfindungsgemäße Primärstromleiter in der Stromflußrichtung asymmetrisch zu der oder den erfindungsgemäßen Aussparungen, beziehungsweise den erfindungsgemäßen Nuten oder den erfindungsgemäßen Schlitzen ausgeprägt ist, um den Magnetfeldgradienten zu optimieren. 50 55

9. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Gradiometer oder die Anordnung von Absolutfeldmeßgeräten an einer oder mehreren Trägern wie zum Beispiel geeigneten Folien oder Drähten mit mikrosystemtechnischen Mitteln befestigt und zusammen mit dieser oder diesen Trägern in einzelnen oder mehreren erfindungsgemäßen Aussparungen oder ihrer Umgebung positioniert werden. 60

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßsysteme so gefertigt sind, daß es oder sie jeweils relativ genau in einzelne oder mehrere 65

erfindungsgemäße Aussparungen, erfindungsgemäße Nuten, beziehungsweise erfindungsgemäße Schlitze hineinpassen und mit einfachen Mitteln dort mit hinreichender Genauigkeit befestigt werden können.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßsysteme

a) auf der Basis des Hall Effektes arbeiten oder

b) auf der Basis des Hall Effektes arbeiten und insbesondere mikrosystemtechnisch integrierte Flußkonzentratoren verwenden oder

c) auf der Basis des Hall Effektes arbeiten und insbesondere besonders geformte magnetfeldempfindliche Bereiche enthalten, die beispielsweise mit Standardverfahren der Halbleiterherstellung wie CMOS oder BICMOS Technologie hergestellt worden sind oder

d) auf der Basis des anisotropen, gigantischen, kolossalen oder anderen magnetoresistiven Effektes (AMR, GMR, CMR) arbeiten oder

e) das transformatorische Prinzip verwenden oder

f) auf der Basis des Josephson Effektes arbeiten oder

g) andere physikalische Effekte und Prinzipien verwenden, die bei Anlegen eines Magnetfeldes oder Magnetfeldgradienten geeignete Ausgangssignale liefern, oder

h) mehrere der vorgenannten Prinzipien oder Effekte verwenden.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß von Strom ableitbare Größen wie zum Beispiel Spannung oder Leistung ermittelt werden.

13. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die gesamte Vorrichtung oder nur ein Teil von ihr durch geeignete Maßnahmen wie zum Beispiel die Anbringung eines zusätzlichen Metallteils gegen äußere Störfelder abgeschirmt wird.

14. Vorrichtung oder Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangssignale der Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßsysteme zur Detektion von Übersrömen genutzt werden.

15. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Messung mehrerer Ströme in mehreren Leitern eine entsprechende Anzahl erfindungsgemäßer Vorrichtungen verwendet wird.

16. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Messung einzelner oder mehrerer erfindungsgemäß gebildeter Gradienten jeweils vorzugsweise mit einem Absolutfeldmeßgerät lediglich eine magnetische

Flußrichtung des Gradientenfeldes auf einer Seite des Nulldurchgangs des magnetischen Feldes aufgezeichnet und zur Auswertung herangezogen wird.

17. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die gesamte erfindungsgemäße Vorrichtung als Einheit zur potentialfreien Strommessung vorgefertigt wird und mit geeigneten Verfahren insbesondere an den Leiterenden der vorgefertigten Einheit mit Stromleitern, die den zu messenden Strom führen, verbunden wird.

18. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erfindungsgemäße, gra-

dientenbildende Leiter bereits als Teil des Zielgerätes gefertigt wird beziehungsweise in diesem enthalten ist und die zur Messung des Gradienten geeigneten Vorrichtungen ebenfalls in weitgehend vorgefertigter Form in die Umgebung der erfindungsgemäßen Ausparungen gebracht und dort positioniert werden. 5

19. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere bei der Messung hoher Ströme die Meßwerte verschiedener Magnetfeld- oder Magnetfeldgradientenmeßsysteme, die in oder in der Umgebung verschiedener erfindungsgemäßer Ausparungen eines Leiters gemessen werden, bei der Auswertung in einer Weise mathematisch miteinander verknüpft werden, welche zur Minimierung oder Eliminierung der Störanteile geeignet ist. 10 15

20. Vorrichtung und Verfahren nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung verschiedener Gradienten, die erfindungsgemäß durch einen geraden Leiter gebildet werden, durch unterschiedliche vorgenannte oder sonstige Verfahren erfolgt. 20

21. Vorrichtung und Verfahren nach einem oder mehreren der vorgenannten Ansprüche.

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

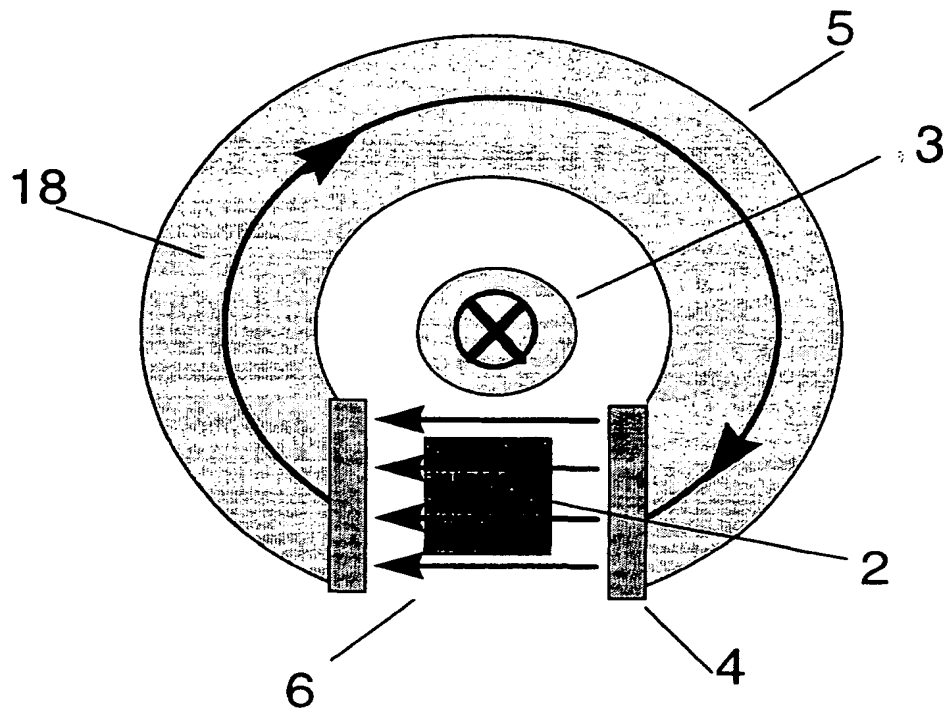
55

60

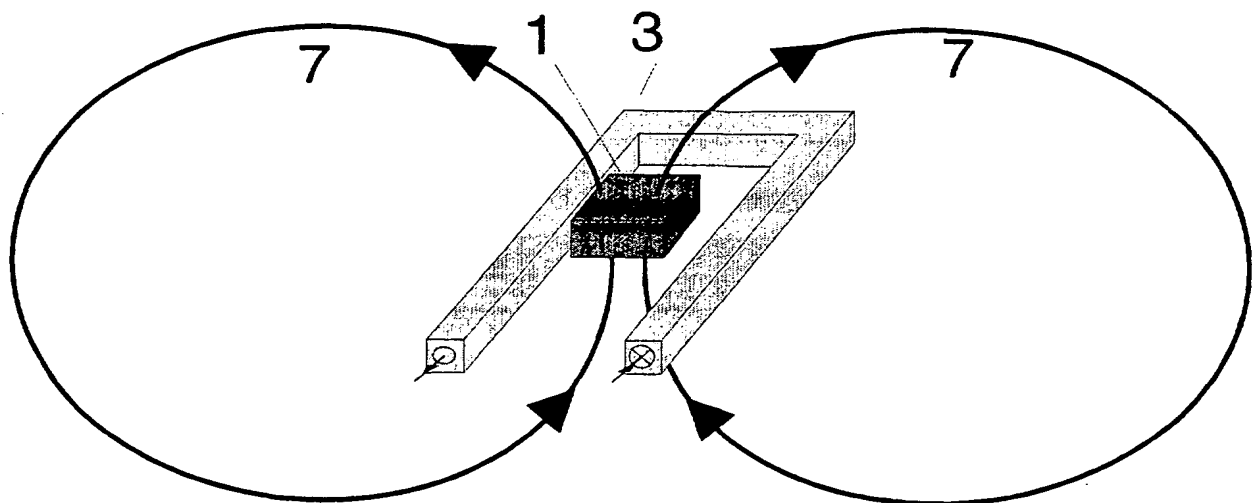
65

- Leerseite -

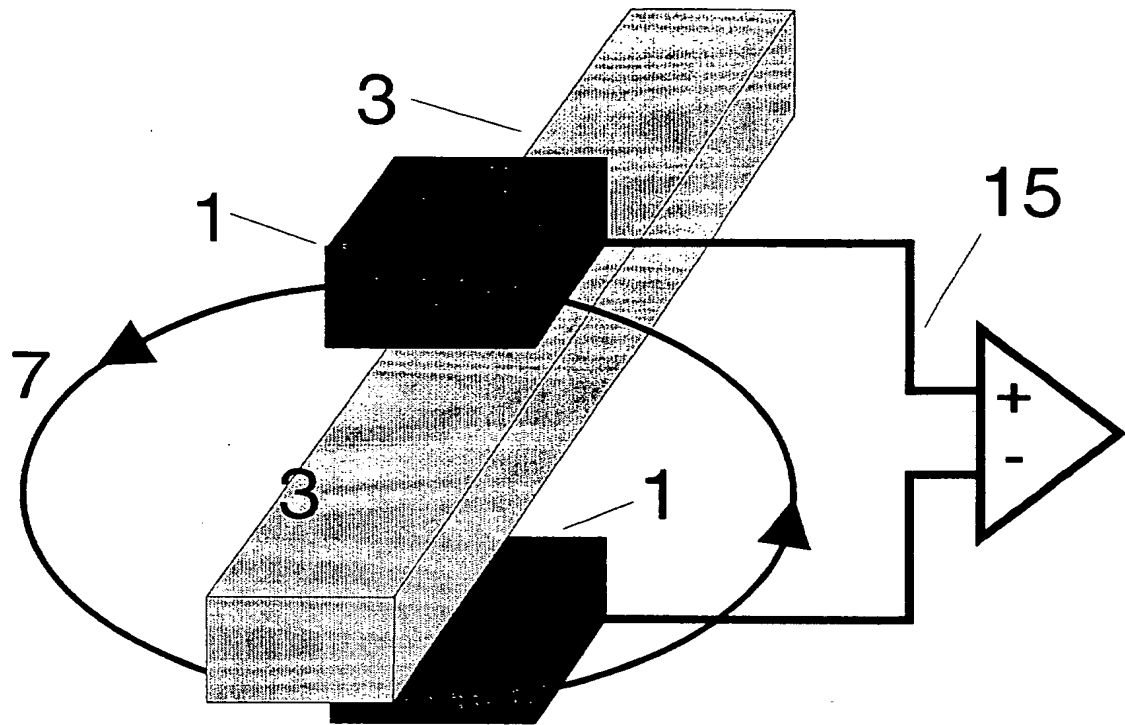
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



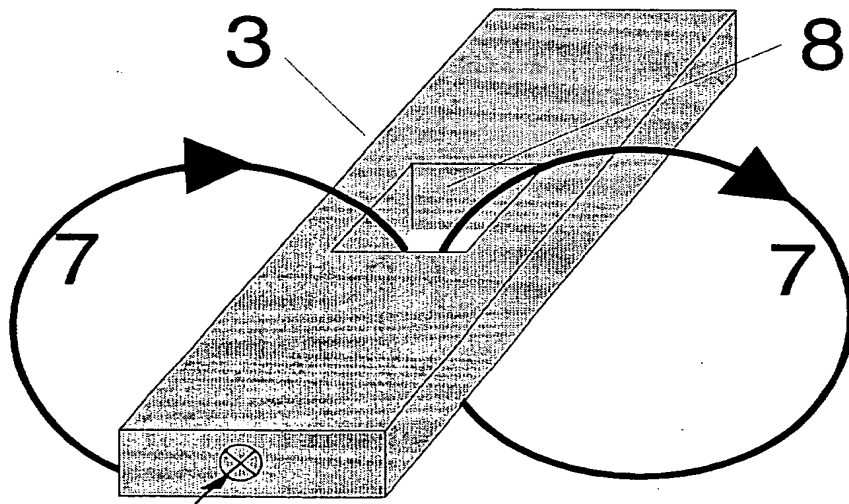
Figur 1



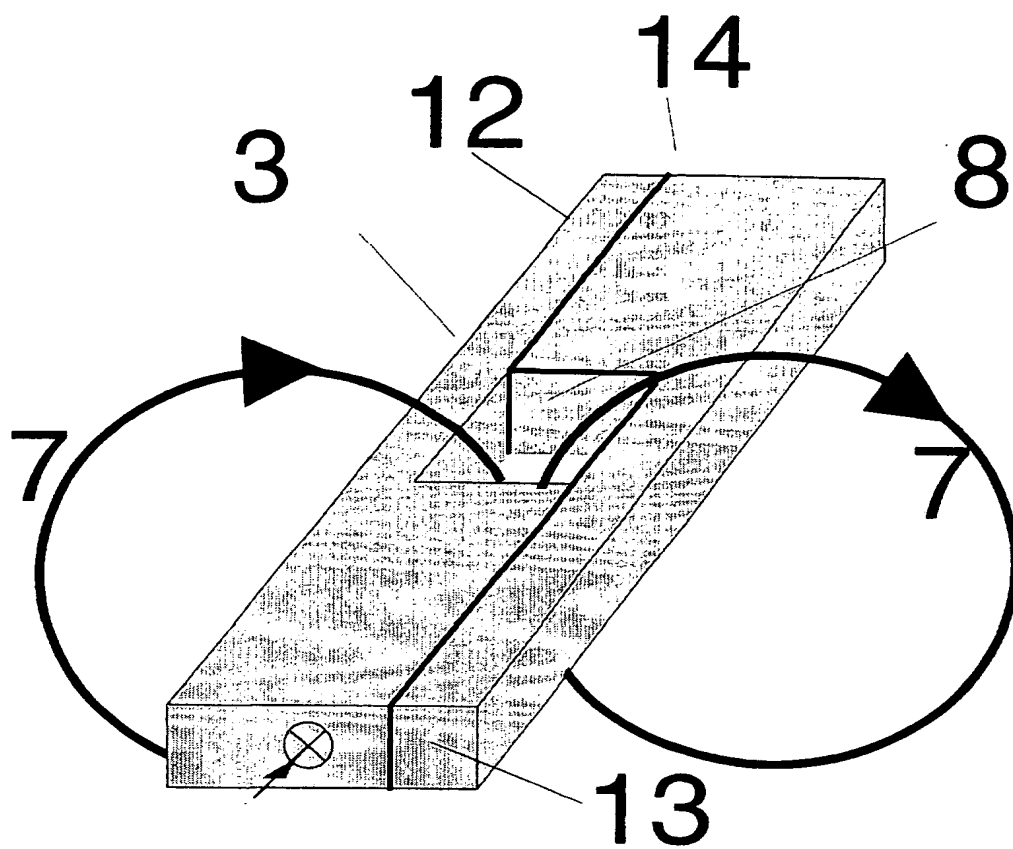
Figur 2



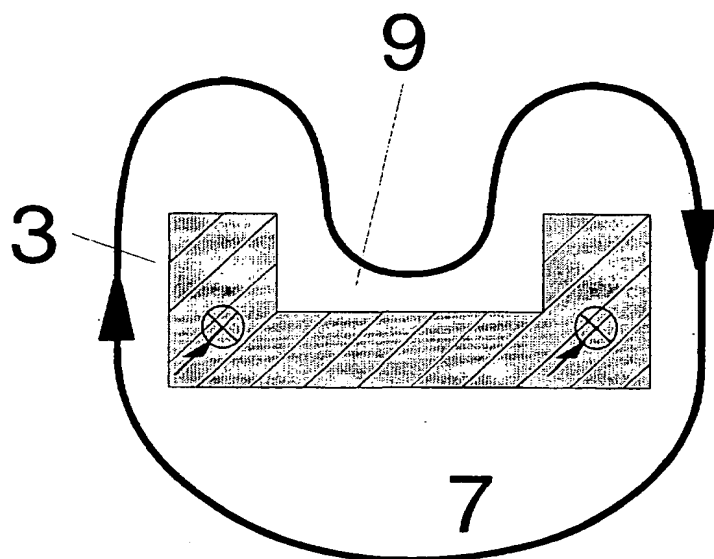
Figur 3



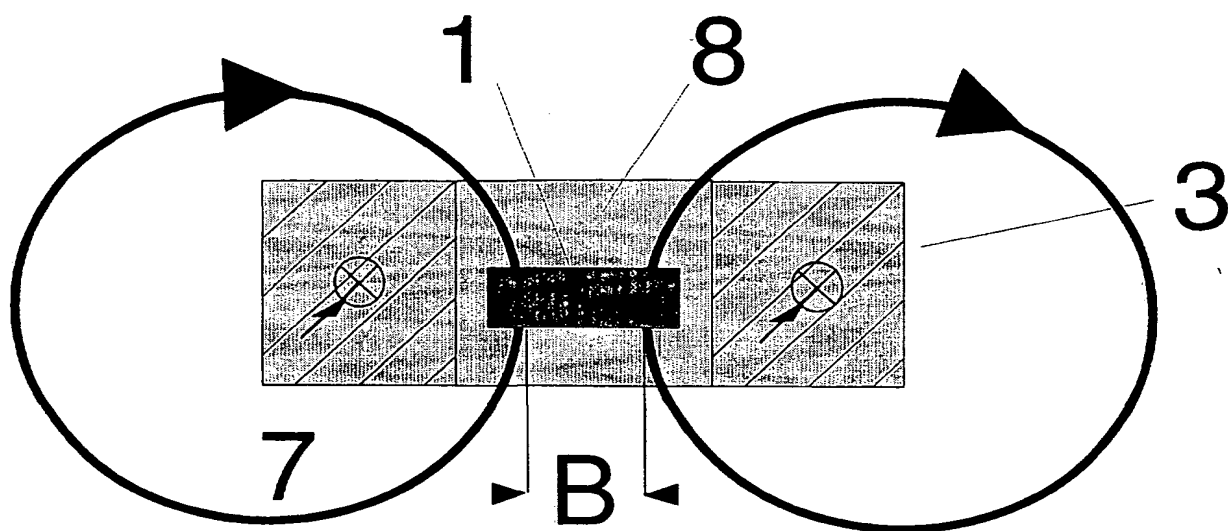
Figur 4



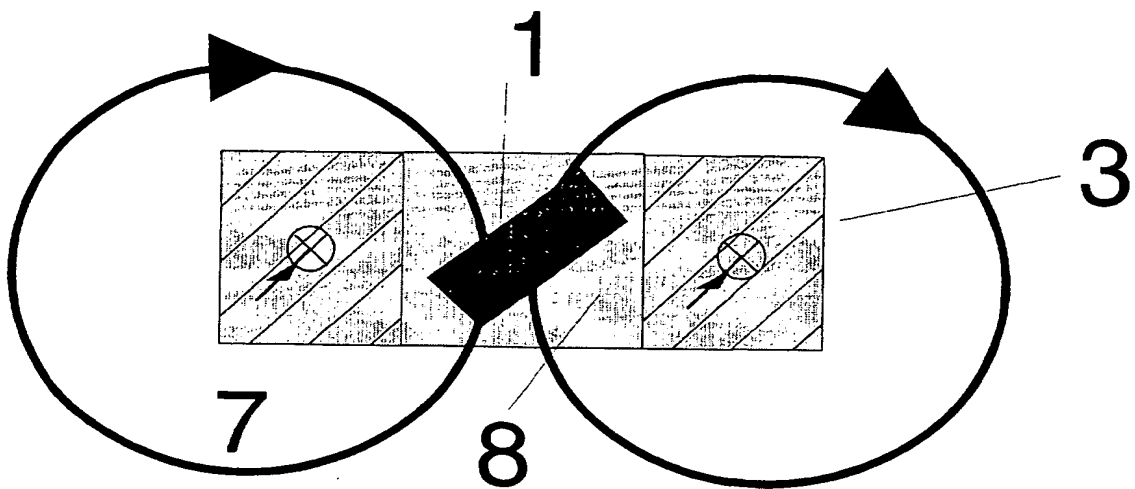
Figur 5



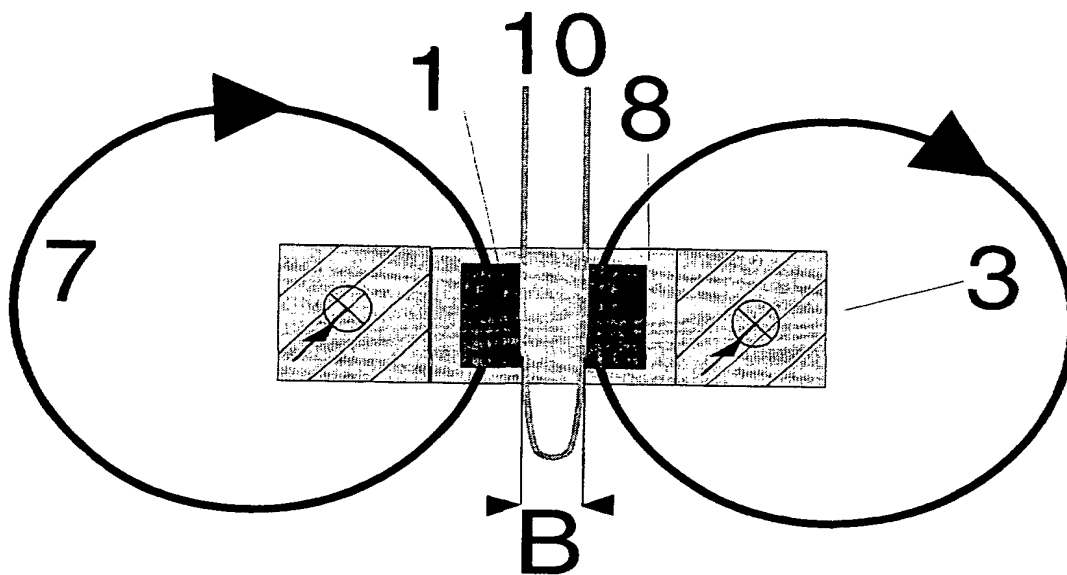
Figur 6



Figur 7

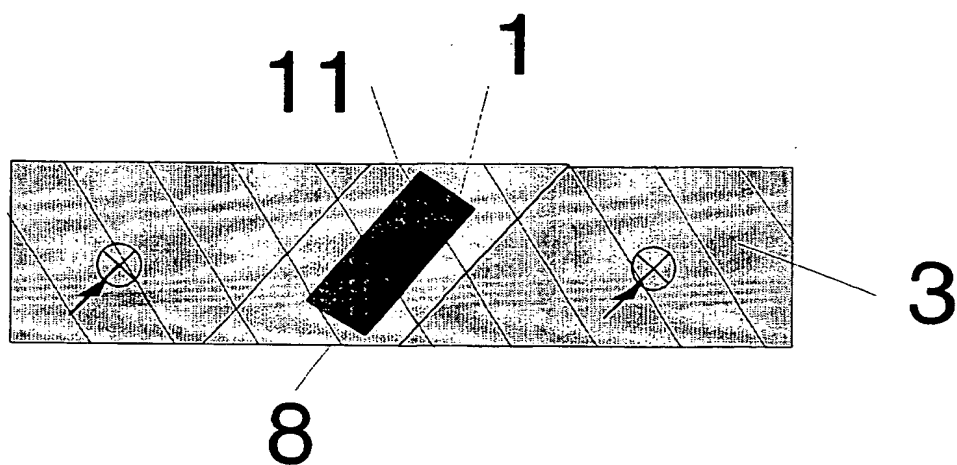


Figur 8

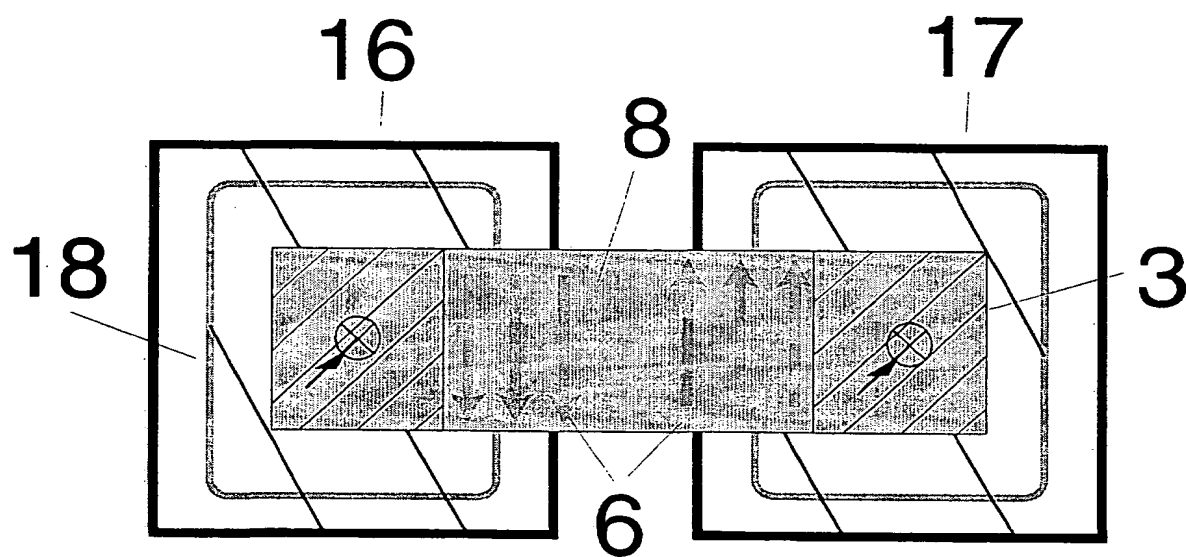


Figur 9

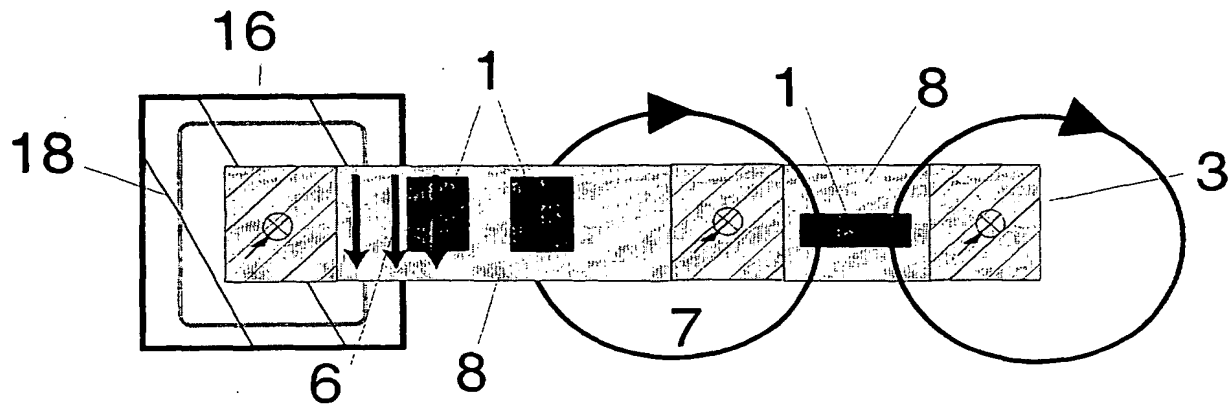




Figur 10



Figur 11



Figur 12